



2878

~~2878~~
PATENT
Docket No. 21295/22

0400
8-09-01
#3
BT
03.08.02

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Dr. Johann Engelhardt *et al.* Group: Not Yet Assigned
Application No.: 09/825,273 Examiner: Not Yet Assigned
Filed: April 3, 2001

For: *APPARATUS FOR COMBINING LIGHT AND CONFOCAL SCANNING MICROSCOPE*

CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this paper (along with any paper referred to as being attached or enclosed) is being deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to the: Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231 on:

By: *Michelle M. Guinazzo*
Michelle M. Guinazzo

May 7, 2001
Date

TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

The above-referenced patent application claims priority, pursuant to 35 U.S.C. §119, from German Patent Application No. 100 16 377.7, filed on April 4, 2000. To perfect this claim of priority, Applicant hereby submits a certified copy of the priority application DE 100 16 377.7.

Respectfully submitted,

By: *Maria Eliseeva*
Maria Eliseeva (Reg. No. 43,328)
Attorney for Applicants
Brown, Rudnick, Freed & Gesmer, P.C.
One Financial Center
Boston, MA 02111
Tel: 617-856-8340
Fax: 617-856-8201
Customer No. 21710

Dated: May 4, 2001

RECEIVED
MAY 7 2001
TECHNICAL CENTER 2000

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

TECHNISCHE BÜRO
MÜNCHEN
2000

Aktenzeichen: 100 16 377.7

Anmeldetag: 4. April 2000

Anmelder/Inhaber: Leica Microsystems Heidelberg GmbH,
Heidelberg, Neckar/DE

Bezeichnung: Vorrichtung zum Vereinigen von Licht

IPC: G 02 B 21/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. Februar 2001
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

Hiebinger

4211/P/064

Heidelberg, 4. April 2000/us'

Patentanmeldung

der Firma

Leica Microsystems Heidelberg GmbH
Im Neuenheimer Feld 518

69120 Heidelberg

betreffend eine

"Vorrichtung zum Vereinigen von Licht"

*Repräsentanz Spanien
E - 03720 Benissa, Alicante
C/ Andalucía, M(2) - 56*

*Luisenstraße 14
D-69115 Heidelberg
Telefon +49 62 21/60 43-0
Telefax +49 62 21/60 43-60
e-mail: un@hd-patent.de*

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Vereinigen von Licht mindestens zweier Laserlichtquellen, vorzugsweise bei der konfokalen Rastermikroskopie.

Vorrichtungen der gattungsbildenden Art sind aus der Praxis hinlänglich bekannt und werden vor allem dort eingesetzt, wo Licht unterschiedlicher Wellenlängen mehrerer Laserlichtquellen zu einem Lichtstrahl vereinigt werden. Insbesondere bei der konfokalen Rastermikroskopie ist es erforderlich, Licht mehrerer Laserlichtquellen unterschiedlicher Wellenlängen in einen gemeinsamen coaxial verlaufenden Lichtstrahl zu vereinigen, um so den gleichen Objektpunkt mit Licht der unterschiedlichen Wellenlängen zu beleuchten. Erfolgt die Vereinigung der Lichtstrahlen nicht exakt coaxial, so ergeben sich in unerwünschter Weise mehrere Beleuchtungsfoki an unterschiedlichen Objektpunkten.

Aus der DE 196 33 185 ist für sich gesehen eine mehrfarbige Punktlichtquelle für ein Rastermikroskop bekannt, das einen Strahlvereiniger aufweist, der Licht mehrerer Laserlichtquellen unterschiedlicher Emissionswellenlängen coaxial vereinigt, wobei der Strahlvereiniger als monolithische Einheit ausgebildet ist.

Laserlicht unterschiedlicher Wellenlängen mehrerer Laser werden üblicherweise mit sogenannten dichroitischen Strahlteilern vereinigt. Hierbei handelt es sich um transparente Strahlteilerplatten, die eine Beschichtung aufweisen, die in Abhängigkeit der jeweiligen Wellenlänge des Lichts eine unterschiedliche Transmissions- bzw. Emissionscharakteristik aufweist.

Bei der konfokalen Rastermikroskopie werden zur Beleuchtung eines Objekts vor allem Gaslaser bzw. Mischgaslaser eingesetzt, deren Emissionslicht Wellenlängen aufweisen, die zum Anregen von Fluoreszenzfarbstoffen geeignet sind. Halbleiterlaser bzw. Festkörperlaser kommen bei der konfokalen Rastermikroskopie bislang kaum zum Einsatz, obwohl sie im Anschaffungspreis erheblich günstiger sind als Gaslaser. Der Grund hierfür liegt in der geringen Ausgangsleistung der Halbleiter- bzw. Festkörperlaser, die typischerweise in einem Bereich von einigen mW liegt. Preiswerte Helium-Neon-Laser könnten ebenfalls bei einigen für die konfokale Rastermikroskopie interessanten Wellenlängen eingesetzt werden, wenn deren Ausgangsleistung hierzu ausreichend wäre.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde Laserlichtquellen geringer Ausgangsleistung als Lichtquellen insbesondere für die konfokale Rastermikroskopie nutzbar zu machen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung der gattungsbildenden Art löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruchs 1. Danach ist eine solche Vorrichtung zum Vereinigen von Licht mindestens zweier Laserlichtquellen dadurch gekennzeichnet, dass das Licht der Laserlichtquellen zumindest nahezu die gleiche Wellenlänge aufweist und dass mindestens eine die Lichtstrahlen zumindest weitgehend verlustfrei vereinigende Strahlvereinigungseinheit vorgesehen ist.

Erfindungsgemäß ist zunächst erkannt worden, dass auf den Einsatz der preiswerten Laserlichtquellen mit nur geringer Ausgangsleistung nicht verzichtet werden muss, wenn es möglich ist, deren Lichtstrahlen zumindest weitgehend verlustfrei zu vereinigen. Die mehrfache Vereinigung von Laserlichtquellen geringer Ausgangsleistung kann in einer Ausgangsleistung resultieren, die der eines herkömmlichen Lasers entspricht, so dass die Verwendung eines herkömmlichen Lasers mit einer für die konfokale Rastermikroskopie hinreichenden Leistung entfallen kann. Somit ist auch in vorteilhafter Weise die aufwendige und vibrationsbehaftete Luft- bzw. Wasserkühlung eines solchen Lasers nicht erforderlich, was eine vereinfachte Labor-Infrastruktur zur Folge hat und insbesondere den störenden Geräuschpegel einer Luftkühlung eliminiert.

Ganz allgemein erfolgt die Strahlvereinigung in Bezug auf mindestens eine charakteristische Eigenschaft der Lichtstrahlen. Als charakteristische Eigenschaft der Lichtstrahlen ist in diesem Zusammenhang bspw. die Polarisierung zu verstehen.

Insbesondere bei der konfokalen Rastermikroskopie ist es erforderlich, dass das vereinigte Licht mehrerer Laserlichtquellen exakt coaxial verläuft, da dann die mehreren Laserlichtquellen einen einzigen, gemeinsamen Beleuchtungsfokus aufweisen.

Im Hinblick auf die Dimensionierung der Strahlvereinigungseinheit ist es von großem Vorteil, wenn die Lichtstrahlen kollimiert verlaufen. Hierdurch ist der Strahlquerschnitt

des Strahlengangs an allen Stellen der Strahlvereinigungseinheit gleich, so dass verglichen zu einem divergenten Strahlengang eine kompakte Bauweise möglich ist.

In einer konkreten Ausführungsform wird linear polarisiertes Licht zweier Laserlichtquellen miteinander vereinigt. Das Licht der meisten Laser ist sowieso linear polarisiert, so dass hierzu keine weiteren Maßnahmen erforderlich sind, die sich daraus ergebenden Vorteile, wie z.B. eine geringe Anzahl optischer Komponenten, zunutze zu machen.

Im folgenden wird auf vier verschiedene charakteristische Eigenschaften des Lichts eingegangen, aufgrund dessen die erfindungsgemäße Strahlvereinigung erfolgt. Es sind dies:

- die Polarisation des Lichts,
- die Phase des Lichts,
- der zeitliche Pulsverlauf des Lichts und
- die gleiche numerische Apertur einer Glasfaser.

Die Lichtvereinigung aufgrund der Polarisation als charakteristische Eigenschaft des Lichts könnte in einer konkreten Ausführungsform mit Hilfe eines Polarisationsstrahlteilers erfolgen. Vorzugsweise kommt hierfür ein Glan-Thompson-Prisma in Frage. Vorzugsweise vereinigt der Polarisationsstrahlteiler Lichtstrahlen, deren Polarisationsrichtungen im wesentlichen senkrecht zueinander stehen.

Die Polarisationsrichtung des Lichts der einen Laserlichtquelle ist derart eingestellt, dass es vom Polarisationsstrahlteiler abgelenkt wird. Die Polarisationsrichtung des Lichts der anderen Laserlichtquelle ist derart eingestellt, dass es den Polarisationsstrahlteiler passiert. Eine geeignete relative Anordnung der zu vereinigenden Lichtstrahlen vorausgesetzt resultiert in einem vereinigten, coaxial verlaufenden Lichtstrahl der beiden Laserlichtquellen.

In einer alternativen Ausführungsform ist zwischen zwei zueinander in entgegengesetzter Richtung coaxial verlaufende Lichtstrahlen zweier Laserlichtquellen ein Polarisationsstrahlteiler und ein Faraday-Rotator angeordnet. Die Polarisationsrichtung des Lichts der ersten Laserlichtquelle ist derart eingestellt,

dass es den Polarisationsstrahlteiler passiert. Die Polarisationsrichtung der zweiten Laserlichtquelle ist derart eingestellt, dass sie zumindest weitgehend parallel zu der Polarisationsrichtung des Lichts der ersten Laserlichtquelle nach dem Passieren des dem Polarisationsstrahlteiler nachgeordneten Faraday-Rotators ist. Demgemäß weist das Licht beider Laserlichtquellen die gleiche Polarisationsrichtung auf, und zwar zwischen dem Faraday-Rotator und dem zweiten Laser. Das Licht der ersten Lichtquelle kann in den zweiten Laser eindringen, insofern die Wellenlänge der ersten Laserlichtquelle mit der Resonanzwellenlänge des Resonators des zweiten Lasers übereinstimmt. Sollte die Resonanzbedingung nicht erfüllt sein, so wird das Licht der ersten Laserlichtquelle am Auskoppelspiegel der zweiten Laserlichtquelle zum Großteil reflektiert. In beiden Fällen verläuft das Licht beider Laserlichtquellen nunmehr coaxial in die gleiche Richtung, eine entsprechende Justierung der optischen Bauteile vorausgesetzt.

Der Faraday-Rotator ist derart ausgebildet, dass er die Polarisationsrichtung eines Laserstrahls im wesentlichen um 45° dreht. Somit dreht der Faraday-Rotator die Polarisationsrichtung des Lichts der ersten Laserlichtquelle nach dessen Passieren durch den Polarisationsstrahlteiler um 45° und stimmt mit der Polarisationsrichtung des zweiten Lasers überein. Nach der Reflexion des Laserlichts der ersten Laserlichtquelle an einem Spiegel der zweiten Laserlichtquelle propagieren die beiden nunmehr coaxial vereinigten Lichtstrahlen in Richtung des Faraday-Rotators, der bei deren Passieren die Polarisationsrichtung um weitere 45° dreht, so dass die Polarisationsrichtung des Lichtstrahls der ersten Laserlichtquelle im wesentlichen senkrecht zu der Polarisationsrichtung der beiden coaxial vereinigten Lichtstrahlen ist. Der vorzugsweise als Glan-Thompson-Prisma ausgestaltete Polarisationsstrahlteiler lenkt nunmehr die beiden vereinigten Lichtstrahlen ab, so dass die abgelenkten, coaxial verlaufenden, vereinigten Lichtstrahlen zur Beleuchtung im konfokalen Rastermikroskop genutzt werden können.

Als Strahlvereinigungseinheit könnte ein Y-Faserkoppler vorgesehen sein. Hierbei ist zur Strahlvereinigung der Lichtstrahlen zweier Laserlichtquellen die Polarisationsrichtung des Lichts der einen Laserlichtquelle derart einzustellen, dass das Licht von der nicht weitergeführten Glasfaser des Y-Faserkopplers an der Kopplungsstelle in die weitergeführte Glasfaser eingekoppelt wird. Die Polarisationsrichtung des Lichts der anderen Laserlichtquelle ist derart einzustellen,

dass das Licht an der Kopplungsstelle in der weitergeführten Glasfaser des Y-Faserkopplers verbleibt. Das aus der weitergeführten Glasfaser austretende Licht kann zu Beleuchtung eines konfokalen Rastermikroskops verwendet werden. Vorzugsweise wird als Strahlvereinigungseinheit ein polarisierender Y-Faserkoppler eingesetzt. Dieser Y-Faserkoppler umfasst polarisierende Glasfasern, die das eingekoppelte Licht nahezu verlustfrei transmittieren lassen und hierbei das Licht linear polarisieren. Dementsprechend wäre eine exakte Einstellung des Polarisationsrichtung des Lichts der beiden Laserlichtquellen bei einem polarisierenden Y-Faserkoppler in vorteilhafter Weise nicht erforderlich.

Als Strahlvereinigungseinheit könnte weiterhin ein doppelbrechendes optisches Element oder ein AOTF (Acousto-Optical-Tunable-Filter) vorgesehen sein. Die Polarisationsrichtung des Lichts der ersten Laserlichtquelle ist dabei derart einzustellen, dass sie mit der Polarisationsrichtung des außerordentlichen Strahls der Strahlvereinigungseinheit zumindest weitgehend übereinstimmt. Die Polarisationsrichtung des Lichts der zweiten Laserlichtquelle ist derart einzustellen, dass sie mit der Polarisationsrichtung des außerordentlichen Strahls der Strahlvereinigungseinheit zumindest weitgehend übereinstimmt. Hierdurch kann die Strahlvereinigung unter Ausnutzung des Doppelbrechungs-Effekts ebenfalls nahezu verlustfrei erfolgen.

Die Strahlvereinigung könnte auf der charakteristischen Eigenschaft der Phase des Lichts der zu vereinigenden Lichtstrahlen beruhen. Hierbei erfolgt die Strahlvereinigung gemäß der Zeitumkehr einer Strahlteilung an einer Grenzfläche bzw. an einer Strahlteilerplatte. Unter der Zeitumkehr einer Strahlteilung an einer Grenzfläche ist in diesem Zusammenhang zu verstehen, dass zwei aus unterschiedlichen Richtungen kommende Lichtstrahlen an einer Grenzfläche zu einem einzigen Lichtstrahl vereinigt werden können, wenn beide Lichtstrahlen genau die gleiche Wellenlänge und Polarisationsrichtung aufweisen und darüber hinaus exakt die gleichen Phasenbeziehung zueinander haben. Dann und nur dann können die beiden Lichtstrahlen konstruktiv interferieren und letztendlich zu einem Lichtstrahl vereinigt werden. Dann nämlich weist der zu reflektierende Lichtstrahl an der Strahlteilerplatte keinen Anteil auf, der durch die Strahlteilerplatte transmittiert.

Hierzu ist insbesondere vorgesehen, dass das Licht der weiteren Laserlichtquellen mit Strahlteilerplatten vereinigt wird. Zur weitgehend verlustfreien Strahlvereinigung von Licht mehrerer Laserlichtquellen ist es erforderlich, dass die zu vereinigenden Lichtstrahlen der Laserlichtquellen eine wohldefinierte Phasenbeziehung aufweisen. Eine solche Phasenbeziehung bzw. ein solcher Phasenabgleich mehrerer Laserlichtquellen kann durch eine entsprechende Synchronisation der Laserlichtquellen erfolgen. Zum Phasenabgleich wird Licht einer ersten Lichtquelle zunächst in mehrere Teilstrahlen aufgespaltet. Die aufgespaltenen Teilstrahlen werden sodann jeweils in die weiteren Laserlichtquellen eingekoppelt. Die Einkopplung eines Teilstrahls in eine der Laserlichtquellen kann hierbei an einem beliebigen Spiegel dieser Laserlichtquelle erfolgen.

Zur Vermeidung der Rückkopplung von Licht in eine Laserlichtquelle ist dieser eine optische Diode vor- und/oder nachgeordnet. Die optische Diode ist vorzugsweise als ein Faraday-Rotator ausgeführt. Der Einsatz eines Faraday-Rotators in Verbindung mit einem Glan-Thompson-Prisma oder eines AOM (Acousto-Optical-Modulator) oder eines optischen Zirkulators ist ebenfalls denkbar.

Eine wichtige Voraussetzung für diese Strahlvereinigung ist, dass die Laserlichtquellen eine Kohärenzlänge aufweisen, die mindestens in der Größenordnung der räumlichen Ausmaße der Strahlvereinigungsvorrichtung liegt. Weiterhin ist eine Phasenanpassung der einzelnen Laserlichtquellen vorgesehen. Die Phasenanpassung könnte bspw. mit zwei zusammengesetzten, keilförmigen optischen Bauteilen erfolgen. Diese beiden Bauteile können gegeneinander quer zur optischen Achse verschoben werden, wodurch die Dicke der resultierenden Platte einstellbar ist. Abhängig von dem Keilwinkel zwischen den beiden Bauteilen kann die Dicke der resultierenden Platte sehr empfindlich variiert werden. Hierdurch kann der optische Weg des Lichts, das das optische Bauteil durchläuft, relativ zu den anderen Lichtstrahlen variiert werden, so dass die Phase dieses Lichtstrahls anpassbar ist. Jeder Laserlichtquelle könnte ein solches Phasenanpassungsmittel vor- und/oder nachgeordnet sein. Ob und wo es anzuordnen ist, hängt von der konkreten Realisierung des Gesamtstrahlengangs ab. Alternativ hierzu könnte die Phasenanpassung durch Verschieben der Laserlichtquellen samt den ihnen zugeordneten Strahlteilerplatten bzw. Spiegel erfolgen.

Als weitere charakteristische Eigenschaft zur Strahlvereinigung der Lichtstrahlen könnte bei gepulsten Laserlichtquellen der zeitliche Pulsverlauf vorgesehen sein.

Als Strahlvereinigungseinheit ist hierzu ein AOD (Acousto-Optical-Deflector) oder ein EOD (Electro-Optical-Deflector) vorgesehen.

Die gepulsten Laserlichtquellen emittieren Lichtpulse synchron zueinander. Die Pulse der Laserlichtquellen sind zueinander zeitversetzt. Eine Synchronisation der gepulsten Laserlichtquellen könnte dadurch erreicht werden, dass die Pulsfrequenz jeder Laserlichtquelle nahezu exakt übereinstimmt. Eine entsprechende Anpassung der Zeitversetzung der Laserlichtquellen zueinander kann durch das Einfügen optischer Elemente in den jeweiligen Teilstrahlengang erfolgen, wobei die optischen Elemente jeweils einen unterschiedlichen optischen Weg und damit eine unterschiedliche Laufzeit aufweisen.

Die Lichtstrahlen der gepulsten Laserlichtquellen treffen aus unterschiedlichen Richtungen auf die Strahlvereinigungseinheit auf. Die einzelnen Lichtpulse werden durch eine entsprechende Beschaltung des AOD bzw. des EOD in Richtung eines coaxial verlaufenden Lichtstrahls abgelenkt. Die Beschaltung der als AOD/EOD ausgeführten Strahlvereinigungseinheit ist hierbei mit der Pulsfolge der Laserlichtquellen synchronisiert.

Die Strahlvereinigung könnte auf der charakteristischen Eigenschaft der gleichen numerischen Apertur einer Glasfaser beruhen. Hierzu ist die Glasfaser vorzugsweise als Single-Mode-Faser ausgeführt. Zur Strahlvereinigung wird Licht mindestens zweier Laserlichtquellen auf ein Glasfaserende fokussiert. Hierbei wird angestrebt, dass nahezu die gesamte Lichtintensität jeder Laserlichtquelle in die Eintritts-Apertur der Glasfaser fokussiert wird.

Falls die benötigte Lichtleistung zweier vereinigter Lichtstrahlen nicht zu einer hinreichenden Beleuchtung eines Objekts ausreicht, ist eine kaskadierte Strahlvereinigung mehrerer Laserlichtquellen vorgesehen. Ganz allgemein wird der vereinigte Lichtstrahl zweier Laserlichtquellen mit einem weiteren Lichtstrahl einer dritten Laserlichtquelle vereinigt. Letztendlich kann der Vereinigungsprozess zweier Eingangslichtstrahlen zu einem Ausgangslichtstrahl beliebig oft und in beliebiger Art

und Weise erfolgen, wodurch sich die zur Verfügung stehende Lichtleistung skalieren läßt.

In besonders vorteilhafter Weise werden hierzu polarisierende Glasfasern eingesetzt. Licht eines beliebigen Polarisationszustands weist nach Durchlaufen einer solchen polarisierenden Glasfaser eine lineare Polarisierung auf. Die polarisierenden Glasfasern sind ähnlich wie polarisationserhaltende Glasfasern aufgebaut und sind mittlerweile kommerziell erhältlich.

Das von mindestens zwei Laserlichtquellen vereinigte Licht weist im allgemeinen zwei senkrecht aufeinander stehende Polarisationsrichtungen auf. Dieses vereinigte Licht könnte in eine polarisierende Glasfaser eingekoppelt werden, was zu einer linearen Polarisation führen würde. Das Licht das aus der Glasfaser austritt könnte sodann mit mindestens einem weiteren Lichtstrahl vereinigt werden, der weitere Lichtstrahl könnte ebenfalls das Resultat der Vereinigung zweier Laserlichtquellen sein.

Alternativ oder in Ergänzung hierzu ist eine Kaskadierung mehrerer polarisierender Y-Faserkoppler vorgesehen.

Eine Kaskadierung der Strahlvereinigung der Ausführungsform zweier zueinander in entgegengesetzter Richtung coaxial verlaufender Lichtstrahlen zweier Laserlichtquellen mit einem Polarisationsstrahlteiler und einem Faraday-Rotator ist ebenfalls denkbar. Hierzu wird dem vereinigten Licht der beiden ersten Laserlichtquellen ein Polarisationsstrahlteiler und ein Faraday-Rotator nachgeordnet. Ein Lichtstrahl einer dritten Laserlichtquelle verläuft in entgegengesetzter Richtung coaxial zu dem vereinigten Lichtstrahl der beiden ersten Laserlichtquellen. Die Polarisationsrichtung der dritten Laserlichtquelle ist derart eingestellt, dass sie zumindest weitgehend parallel zu der Polarisationsrichtung des vereinigten Lichts der ersten beiden Laserlichtquellen nach dem Passieren des dem zweiten Polarisationsstrahlteiler nachgeordneten zweiten Faraday-Rotators ist. Das Licht der dritten Laserlichtquelle samt dem an einem Spiegel der dritten Laserlichtquelle reflektierten Licht der ersten beiden Laserlichtquellen wird von dem Polarisationsstrahlteiler abgelenkt, so dass das nunmehr vereinigte Licht der drei

Laserlichtquellen als Beleuchtung für ein konfokales Rasterscanmikroskop verwendet werden kann.

Bei allen Ausführungsformen handelt es sich bei dem zu vereinigenden Licht um Licht aus gleichen Lasern und/oder um Licht aus zumindest gleichartigen Lasern und/oder um Licht aus Lasern unterschiedlichen Typs.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigen

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Vereinigen von Licht zweier Laserlichtquellen in Verbindung mit einem konfokalen Rastermikroskop,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines alternativen Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 3 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 6 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

- Fig. 7 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 8 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels zur kaskadierten Strahlvereinigung mehrerer Laserlichtquellen,
- Fig. 9 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels zur kaskadierten Strahlvereinigung mehrerer Laserlichtquellen und
- Fig. 10 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels zur kaskadierten Strahlvereinigung mehrerer Laserlichtquellen.

Die Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zum Vereinigen von Licht zweier Laserlichtquellen 1, 2 eines konfokalen Rastermikroskops 3. Das vereinigte Licht der beiden Laserlichtquellen 1, 2 passiert das Anregungspinhole 4 und wird von einem dichroitischen Strahlteiler 5 in Richtung des Scaneinrichtung 6 reflektiert. Der gescannte Lichtstrahl wird vom Objektiv 7 in einen Punkt im Objekt 8 fokussiert. Das vom Beleuchtungslicht angeregte Fluoreszenzlicht durchläuft das Objektiv 7, wird von der Scaneinrichtung 6 zu dem dichroitischen Strahlteiler 5 reflektiert. Lediglich Fluoreszenzlicht aus der Fokusregion kann gemäß dem konfokalen Prinzip das Detektionspinhole 9 passieren und wird von dem Detektor 10 nachgewiesen.

Erfindungsgemäß weist das Licht der Laserlichtquellen 1 und 2 zumindest nahezu die gleiche Wellenlänge auf und es ist eine die Lichtstrahlen zumindest weitgehend verlustfrei vereinigende Strahlvereinigungseinheit 11 vorgesehen. Bei den beiden Laserlichtquellen 1, 2 handelt es sich um jeweils einen Helium-Neon-Laser, der Licht der Wellenlänge 543 nm emittiert. Die Ausgangsleistung hierbei ist jeweils ca. 1 mW.

Die Strahlvereinigung aus der Fig. 1 erfolgt in Bezug auf eine charakteristische Eigenschaft der zu vereinigenden Lichtstrahlen 12, 13, und zwar aufgrund ihrer Polarisation.

Das vereinigte Licht 14 verläuft coaxial. Im Bereich der Strahlvereinigungseinheit 11 verlaufen darüber hinaus die Lichtstrahlen 12, 13 und 14 kolimiert.

Das Licht der Laserlichtquelle 1 ist linear polarisiert, und zwar senkrecht zur Zeichnungsebene, was mit dem eingezeichneten Punkt mit dem Bezugszeichen 15 angedeutet ist. Die Polarisationsrichtung der Laserlichtquelle 2 liegt in der Zeichnungsebene der Fig. 1, was mit dem Pfeil mit dem Bezugszeichen 16 angedeutet ist.

Bei der Strahlvereinigungseinheit 11 handelt es sich um ein Glan-Thompson-Prisma, das Lichtstrahlen miteinander vereinigt, deren Polarisationsrichtungen 15, 16 im wesentlichen senkrecht zueinander stehen. Hierbei ist die Polarisationsrichtung 15 des Lichts der Laserlichtquelle 1 derart eingestellt, dass es das Glan-Thompson-Prisma 11 passiert, wohingegen die Polarisationsrichtung 16 des Lichts der Laserlichtquelle 2 derart eingestellt ist, dass es vom Glan-Thompson-Prisma 11 reflektiert wird.

Die Fig. 2 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel zum Vereinigen zweier Lichtstrahlen 12, 13 zweier Laserlichtquellen 1, 2. Die beiden Laserlichtquellen 1, 2 sind derart angeordnet, dass ihre Lichtstrahlen 12, 13 in entgegengesetzter Richtung koaxial verlaufen. Zwischen den Laserlichtquellen 1, 2 ist ein Glan-Thompson-Prisma 11 und ein Faraday-Rotator 17 angeordnet. Die Polarisationsrichtung 15 des Lichts der Laserlichtquelle 1 ist derart eingestellt, dass es das Glan-Thompson-Prisma 11 passiert. Hierbei bleibt die Polarisationsrichtung 15 erhalten. Der Lichtstrahl 12 passiert sodann den Faraday-Rotator 17, der die Polarisationsrichtung 15 des Lichtstrahls 12 um ca. 45° dreht, so dass die gedrehte Polarisationsrichtung des Lichtstrahls 12 zu der Polarisationsrichtung 16 der Laserlichtquelle 2 weitgehend parallel ist. Somit verlaufen in dem Abschnitt zwischen dem Faraday-Rotator 17 und der Laserlichtquelle 2 die Lichtstrahlen 12 und 13 koaxial entgegengesetzt, kollimiert und mit der gleichen Polarisationsrichtung 16. Das Licht der Laserlichtquelle 1 wird nun an einem der nicht eingezeichneten Resonatorspiegel der Laserlichtquelle 2 reflektiert, so dass nach der Reflexion des Lichtstrahls 12 dieser mit dem Lichtstrahl 13 nunmehr in Richtung des Faraday-Rotators 17 verläuft. Dieser dreht die Polarisationsrichtung der beiden vereinigten Lichtstrahlen 12, 13 um weitere 45° , so dass die Polarisationsrichtung der vereinigten Lichtstrahlen 12, 13 senkrecht zu der ursprünglichen Polarisationsrichtung 15 der Laserlichtquelle 1 steht. Die vereinigten Lichtstrahlen 12, 13 werden aufgrund ihrer Polarisationsrichtung von dem Glan-Thompson-Prisma 11 reflektiert, so dass der vereinigte Lichtstrahl 14 zur

Beleuchtung in einem konfokalen Rastermikroskop genutzt werden kann. Der vereinigte Lichtstrahl weist eine Polarisationsrichtung 18 auf.

Die Fig. 3 zeigt eine Vorrichtung zum Vereinigen der Lichtstrahlen 12, 13 der Laserlichtquellen 1, 2 mit Hilfe einer als Y-Faserkoppler 19 ausgeführten Strahlvereinigungseinheit. Die Laserlichtquelle 1 ist derart eingestellt, dass das von ihr emittierte Licht 12 eine senkrecht zur Zeichenebene stehende Polarisationsrichtung 15 aufweist. Das Laserlicht 12 wird in die Faser 20 eingekoppelt, die nicht weitergeführt ist. Die Polarisationsrichtung 15 des Laserlichts 12 ist derart eingestellt, dass es von der nicht weitergeführten Faser 20 in die weitergeführte Faser 21 eingekoppelt wird, und zwar an dem Verbindungspunkt des Y-Faserkopplers 19. Die Polarisationsrichtung 16 des Lichts 13 der Laserlichtquelle 2 ist derart eingestellt, dass es in die weitergeführte Faser 21 eingekoppelt wird und in ihr verbleibt. Demgemäß wirkt der Y-Faserkoppler 19 ähnlich wie ein Glan-Thompson-Prisma, mit ihm können die senkrecht zueinander polarisierten Lichtstrahlen 12, 13 zu einem vereinigten Lichtstrahl 14 zusammengeführt werden.

Die Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei dem Lichtstrahlen 12, 13 zweier Laserlichtquellen 1, 2 vereinigt werden. Die Strahlvereinigungseinheit 22 ist als ein doppelbrechendes optisches Element ausgeführt, nämlich als ein doppelbrechendes Kristall. Die Polarisationsrichtung 15 des Lichtstrahls 12 der Laserlichtquelle 1 ist derart eingestellt, dass sie mit der Polarisationsrichtung des außerordentlichen Strahls des doppelbrechenden Elements 22 zumindest weitgehend übereinstimmt. Die Polarisationsrichtung 16 des Lichtstrahls 13 der Laserlichtquelle 2 ist derart eingestellt, dass sie mit der Polarisationsrichtung des ordentlichen Strahls des doppelbrechenden Elements 22 zumindest weitgehend übereinstimmt. Aufgrund der doppelbrechenden Eigenschaften des optischen Elements 22 werden die beiden aus unterschiedlichen Richtungen kommenden Lichtstrahlen 12, 13 zu einem einzigen Lichtstrahl 14 weitgehend verlustfrei vereinigt.

In dem Ausführungsbeispiel gemäß der Fig. 5 wird die Vereinigung von Lichtstrahlen aufgrund der Phase als charakteristische Eigenschaft des Lichts erzielt. Die Strahlvereinigung erfolgt hierbei gemäß der Zeitumkehr der Strahlteilung an einer Strahlteilerplatte 23. Die in der Fig. 5 gezeigte Vorrichtung umfasst insgesamt vier Laserlichtquellen. Die Laserlichtquelle 24 wirkt hierbei als Master, die

Laserlichtquellen 25, 26 und 27 wirken hierbei als Slave. Die zur Strahlvereinigung der Lichtstrahlen der Laserlichtquellen 24, 25, 26, 27 notwendige Phasenbeziehung wird dadurch erzeugt, dass das Licht der Laserlichtquelle 24 mit den Strahlteilerplatten 28 zunächst in mehrere Teilstrahlen 29 aufgespalten wird. Die Teilstrahlen 29 werden in die Laserlichtquellen 25, 26, 27 eingekoppelt und synchronisieren so die stimulierte Emission der drei Laserlichtquellen 25, 26, 27. Das nunmehr eine feste Phasenbeziehung aufweisende, von den Laserquellen 25, 26, 27 emittierte Laserlicht 30 wird an den Strahlteilerplatten 23 zu einem vereinigten Lichtstrahl 14 gemäß der Zeitumkehr einer Strahlteilung zusammengeführt. Zur Vermeidung der Rückkopplung von Licht in die Laserlichtquelle 24 ist dieser eine optische Diode 31, die als Faraday-Rotator ausgeführt ist, nachgeordnet. Die Laserlichtquellen 24 bis 27 weisen eine Kohärenzlänge von 5 m auf, so dass die Kohärenzlänge der Laserlichtquellen auf jeden Fall größer ist als die in der Fig. 5 gezeigte gesamte Strahlvereinigungsvorrichtung.

Das von den Laserlichtquellen 25, 26, 27 emittierte Licht 30 weist eine feste Phasenbeziehung zueinander auf, diese Phasenbeziehung wird jedoch mit den Phasenveränderungsmitteln 32 derart aufeinander angepasst, dass eine zumindest weitgehend verlustfreie Vereinigung der Lichtstrahlen 30 möglich ist. Die Spiegel 33 weisen einen Reflexionskoeffizient von 99,5 % auf, so dass auch hier nahezu die gesamte Lichtintensität reflektiert wird.

Die Fig. 6 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zum Vereinigen von Lichtstrahlen 12, 13, wobei hierbei gepulste Laserlichtquellen 34, 35 verwendet werden. Die Strahlvereinigung ist hierbei in Bezug auf den zeitlichen Pulsverlauf 36, 37 der gepulsten Laserlichtquellen 34, 35 als charakteristische Eigenschaft des Lichts vorgesehen. Als Strahlvereinigungseinheit ist ein AOD (Acousto-Optical-Deflector) 38 vorgesehen. Die Laserlichtquellen 34, 35 emittieren synchron zueinander Lichtpulse, deren Verlauf schematisch mit den Bezugszeichen 36 bzw. 37 dargestellt ist. Der zeitliche Verlauf der einzelnen Pulse ist zueinander zeitversetzt. Die Lichtstrahlen 12, 13 kommen aus unterschiedlichen Richtungen. Durch eine entsprechende Beschaltung des AOD 38 werden die einzelnen Lichtpulse in Richtung des koaxial verlaufenden Lichtstrahls 14 abgelenkt. Hierbei wird der AOD 38 mit einer dem Pulsverlauf 36 vergleichbaren Beschaltungskurve beaufschlagt, der im kHz-Bereich liegt.

Die Fig. 7 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zum Vereinigen von zwei Lichtstrahlen 12, 13 zweier Laserlichtquellen 1, 2, wobei die Strahlvereinigung in Bezug auf die gleiche numerische Apertur 39 einer Glasfaser 40 als charakteristische Eigenschaft vorgesehen ist. Die Glasfaser 40 ist hierbei als Single-Mode-Faser ausgeführt. Die Lichtstrahlen 12, 13 der beiden Laserlichtquellen 1, 2 werden mit Hilfe der Linsen 41 auf das eine Glasfaserende der Glasfaser 40 fokussiert. Die Glasfaser 40 weist eingangsseitig die numerische Apertur 39 auf.

Ganz allgemein ist eine kaskadierte Strahlvereinigung mehrerer Laserlichtquellen vorgesehen, ein entsprechendes Ausführungsbeispiel ist der Fig. 8 entnehmbar. Das Laserlicht 12, 13 der beiden Laserlichtquellen 1, 2 wird mit einem Glan-Thompson-Prisma 11 zu einem einzigen Lichtstrahl 14 vereinigt, was letztendlich der Strahlvereinigung aus dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 entspricht. Das vereinigte Laserlicht 14 weist die beiden senkrecht aufeinander stehenden linearen Polarisationsrichtungen 15, 16 auf. Das vereinigte Laserlicht 14 wird in die polarisierende Glasfaser 42 eingekoppelt. Das aus der polarisierenden Glasfaser 42 austretende Laserlicht 14 weist die lineare Polarisationsrichtung 43 auf. Laserlicht 44 eines weiteren Lasers 45 mit der Polarisationsrichtung 46 wird mit einem weiteren Glan-Thompson-Prisma 11 mit dem linear polarisierten Lichtstrahl 14 zu einem vereinigten Lichtstrahl 47 zusammengeführt. Der vereinigte Lichtstrahl 47 weist die beiden linearen Polarisationsrichtungen 43 und 46 auf. Der Lichtstrahl 47 könnte wiederum in eine polarisierende Glasfaser eingekoppelt werden, um erneut linear polarisiert zu werden. Der sodann linear polarisierte Lichtstrahl könnte in gleicher Weise mit Licht einer weiteren Laserlichtquelle mit Hilfe eines weiteren Glan-Thompson-Prismas vereinigt werden.

Der Fig. 9 ist eine Kaskadierung mehrerer polarisierender Y-Faserkoppler 48, 49, 50 gezeigt. Laserlicht 12, 13 der beiden Laserlichtquellen 1, 2 wird jeweils in den Y-Faserkoppler 48 bzw. in den Y-Faserkoppler 49 eingekoppelt. Das Laserlicht 12 weist hierbei eine Polarisationsrichtung 15 auf, die senkrecht zur Zeichnungsebene steht, wohingegen das Laserlicht 13 eine Polarisationsrichtung 16 aufweist, die in der Zeichnungsebene liegt. Nach der Vereinigung der beiden Lichtstrahlen 12, 13 mit Hilfe der beiden Y-Faserkoppler 48, 49 wird dieses Licht wiederum mit dem polarisierenden Y-Faserkoppler 50 zu einem vereinigten Lichtstrahl 51

zusammengefügt. Dieser vereinigte Lichtstrahl 51 weist eine lineare Polarisationsrichtung 52 auf.

Die Fig. 10 zeigt eine Kaskadierung von Strahlvereinigungseinheiten gemäß dem Ausführungsbeispiel der Fig. 2. Hierbei wird Laserlicht 12, 13 der beiden Laserlichtquellen 1, 2 gemäß den Ausführungen zu der Fig. 2 zu einem einzigen Lichtstrahl 14 mit einer Polarisationsrichtung 18 vereinigt. In entgegengesetzter Richtung zu dem Lichtstrahl 14 verläuft coaxial der Lichtstrahl 53 eines dritten Lasers 45. Zwischen dem Glan-Thompson-Prisma 11 und dem dritten Laser 45 ist ein weiteres Glan-Thompson-Prisma 54 und ein weiterer Faraday-Rotator 55 angeordnet. Die Polarisationsrichtung 56 der Laserlichtquelle 45 ist derart eingestellt, dass sie zumindest weitgehend parallel zu der Polarisationsrichtung 18 des vereinigten Lichtstrahls 14 der ersten beiden Laserlichtquellen 1, 2 nach dem Passieren des dem zweiten Polarisationsstrahlteiler 54 nachgeordneten zweiten Faraday-Rotators 55 ist. Der zweite Faraday-Rotator 55 dreht die Polarisationsrichtung des Lichtstrahls 14 ebenfalls um 45° . Der Lichtstrahl 14 wird an einem der nicht eingezeichneten Resonatorspiegel der dritten Laserlichtquelle 45 reflektiert und verläuft nunmehr coaxial vereinigt zu dem Laserlicht 53, das die dritte Laserlichtquelle 45 emittiert. Die beiden Lichtstrahlen 14 und 53 durchlaufen den Faraday-Rotator 55, der die Polarisationsrichtung um weitere 45° dreht, so dass dieses Licht von dem Glan-Thompson-Prisma 54 abgelenkt wird und nunmehr als vereinigter Lichtstrahl 57 mit einer Polarisationsrichtung 58 zur Beleuchtung in einem konfokalen Rastermikroskop nutzbar ist. Auch bei dem Ausführungsbeispiel gemäß der Fig. 10 wäre eine weitere Kaskadierung einer vierten Laserlichtquelle denkbar.

Abschließend sei ganz besonders darauf hingewiesen, dass die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele lediglich zur Beschreibung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Vereinigen von Licht mindestens zweier Laserlichtquellen (1, 2), vorzugsweise bei der konfokalen Rastermikroskopie (3),
dadurch gekennzeichnet, dass das Licht der Laserlichtquellen (1, 2) zumindest nahezu die gleiche Wellenlänge aufweist und dass mindestens eine die Lichtstrahlen (12, 13) zumindest weitgehend verlustfrei vereinigende Strahlvereinigungseinheit (11) vorgesehen ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlvereinigung in Bezug auf mindestens eine charakteristische Eigenschaft der Lichtstrahlen (12, 13) erfolgt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das vereinigte Licht coaxial verläuft.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlen (12, 13) kollimiert verlaufen.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass linear polarisiertes Licht zweier Laserlichtquellen (1, 2) vereinigt wird.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisation als charakteristische Eigenschaft des Lichts vorgesehen ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlvereinigungseinheit (11) ein Polarisationsstrahlteiler, vorzugsweise ein Glan-Thompson-Prisma, vorgesehen ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Polarisationsstrahlteiler (11) Lichtstrahlen (12, 13) vereinigt, deren Polarisationsrichtungen (15, 16) im wesentlichen zueinander senkrecht stehen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsrichtung (16) des Lichts der einen Laserlichtquelle (2) derart eingestellt ist, dass es vom Polarisationsstrahlteiler (11) abgelenkt wird und dass die Polarisationsrichtung (15) des Lichts der anderen Laserlichtquelle (1) derart eingestellt ist, dass es den Polarisationsstrahlteiler (11) passiert.
10. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen zwei zueinander in entgegengesetzter Richtung coaxial verlaufende Lichtstrahlen (12, 13) zweier Laserlichtquellen (1, 2) ein Polarisationsstrahlteiler (11) und ein Faraday-Rotator (17) angeordnet ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsrichtung (15) des Lichts der ersten Laserlichtquelle (1) derart eingestellt ist, dass es den Polarisationsstrahlteiler (11) passiert.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsrichtung (16) der zweiten Laserlichtquelle (2) derart eingestellt ist, dass sie zumindest weitgehend parallel zu der Polarisationsrichtung (15) des Lichts der ersten Laserlichtquelle (1) nach dem Passieren des dem Polarisationsstrahlteiler (11) nachgeordneten Faraday-Rotators (17) ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Faraday-Rotator (17) die Polarisationsrichtung eines Lichtstrahls im wesentlichen um 45 Grad dreht.
14. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlvereinigungseinheit ein Y-Faserkoppler (19) vorgesehen ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsrichtung (15) des Lichts der einen Laserlichtquelle (1) derart eingestellt ist, dass es von der nicht weitergeführten Faser (20) des Y-Faserkopplers (19) in die weitergeführte Faser (21) eingekoppelt wird und dass die Polarisationsrichtung (16) des Lichts der anderen Laserlichtquelle (2) derart eingestellt ist, dass es in der weitergeführten Faser (21) des Y-Faserkopplers (19) verbleibt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlvereinigungseinheit ein polarisierender Y-Faserkoppler vorgesehen ist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlvereinigungseinheit ein doppelbrechendes optisches Element (22) vorgesehen ist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlvereinigungseinheit ein AOTF (Acousto-Optical-Tunable-Filter) vorgesehen ist.
19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsrichtung (15) des Lichts der ersten Laserlichtquelle (1) derart eingestellt ist, dass sie mit der des ausserordentlichen Strahls der Strahlvereinigungseinheit (22) zumindest weitgehend übereinstimmt und dass die Polarisationsrichtung (16) des Lichts der zweiten Laserlichtquelle (2) derart eingestellt ist, dass sie mit der des ordentlichen Strahls der Strahlvereinigungseinheit (22) zumindest weitgehend übereinstimmt.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Phase als charakteristische Eigenschaft des Lichts vorgesehen ist.
21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass eine Strahlvereinigung gemäß der Zeitumkehr einer Strahlteilung an einer Grenzfläche bzw. an einer Strahlteilerplatte (23) erfolgt.
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht der weiteren Laserlichtquellen mit Strahlteilerplatten (23) vereinigt wird.
23. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass zum Phasenabgleich mehrerer Laserlichtquellen (25, 26, 27) Licht einer ersten Laserlichtquelle (24) zunächst in mehrere Teilstrahlen (29) aufgespalten wird und sodann jeweils in die weiteren Laserlichtquellen (25, 26, 27) eingekoppelt wird.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Einkopplung in eine Laserlichtquelle an einem beliebigen Spiegel der Laserlichtquelle erfolgen kann.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass zur Vermeidung der Rückkopplung von Licht in eine Laserlichtquelle (24) dieser eine optische Diode (31) vor- und/oder nachgeordnet ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Diode (31) als ein Faraday-Rotator ausgeführt ist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Diode (31) als ein Faraday-Rotator in Verbindung mit einem Glan-Thompson-Prisma ausgeführt ist.

28. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Diode (31) als ein AOM (Acousto-Optical-Modulator) ausgeführt ist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Diode (31) als ein optischer Zirkulator ausgeführt ist.

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserlichtquellen (24, 25, 26, 27) eine Kohärenzlänge aufweisen, die mindestens in der Größenordnung der Strahlvereinigungsvorrichtung liegt.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass eine Phasenanpassung der einzelnen Laserlichtquellen (25, 26, 27) vorgesehen ist.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass einer jeden Laserlichtquelle (25, 26, 27) ein Phasenveränderungsmittel (32) vor- und/oder nachgeordnet ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenanpassung durch Verschieben der Laserlichtquellen (25, 26, 27) samt den ihnen zugeordneten Strahlteilerplatten (28, 23) bzw. Spiegel (33) erfolgt.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei gepulsten Laserlichtquellen (34, 35) der zeitliche Pulsverlauf (36, 37) als charakteristische Eigenschaft vorgesehen ist.

35. Vorrichtung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlvereinigungseinheit ein AOD (Acousto-Optical-Deflector) (38) vorgesehen ist.

36. Vorrichtung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlvereinigungseinheit ein EOD (Electro-Optical-Deflector) vorgesehen ist.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 34 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Laserlichtquellen (34, 35) synchron zueinander Lichtpulse emittieren.

38. Vorrichtung nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulse der Laserlichtquellen (34, 35) zueinander zeitversetzt sind.

39. Vorrichtung nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlen (12, 13) der Laserlichtquellen (34, 35) aus unterschiedlichen Richtungen kommen.

40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 34 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Lichtpulse durch eine entsprechende Beschaltung des AOD/EOD (38) in Richtung eines koaxial verlaufenden Lichtstrahls (14) ablenkbar sind.

41. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die gleiche numerische Apertur (39) einer Glasfaser (40) als charakteristische Eigenschaft vorgesehen ist.

42. Vorrichtung nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die Glasfaser (40) als Single-Mode-Faser ausgeführt ist.

43. Vorrichtung nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlvereinigung durch Fokussierung des Lichts (12, 13) der Laserlichtquellen (1, 2) auf ein Glasfaserende erfolgt.
44. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass eine kaskadierte Strahlvereinigung mehrerer Laserlichtquellen (1, 2, 45) vorgesehen ist.
45. Vorrichtung nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, dass Licht eines beliebigen Polarisationszustands (15, 16) mit einer polarisierenden Glasfaser (42) linear polarisierbar ist.
46. Vorrichtung nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, dass das von mindestens zwei Laserlichtquellen (1, 2) vereinigte Licht (14) in eine polarisierende Glasfaser (42) eingekoppelt wird.
47. Vorrichtung nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, dass das aus der polarisierenden Glasfaser (42) austretende Licht mit mindestens einem weiteren Lichtstrahl (44) vereinigt werden kann.
48. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 47, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kaskadierung mehrerer polarisierender Y-Faserkoppler (48, 49, 50) vorgesehen ist.
49. Vorrichtung nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den vereinigten Lichtstrahlen (14) nach Anspruch 12 und einem hierzu in entgegengesetzter Richtung coaxial verlaufenden Lichtstrahl (53) einer dritten Laserlichtquelle (45) ein weiterer Polarisationsstrahlteiler (54) und ein weiterer Faraday-Rotator (55) angeordnet ist.
50. Vorrichtung nach Anspruch 49, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsrichtung (56) der dritten Laserlichtquelle (45) derart eingestellt ist, dass sie zumindest weitgehend parallel zu der Polarisationsrichtung (18) des vereinigten Lichts (14) der ersten beiden Laserlichtquellen (1, 2) nach dem Passieren des dem

zweiten Polarisationsstrahlteiler (54) nachgeordneten zweiten Faraday-Rotators (55) ist.

51. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 50, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem zu vereinigenden Licht um Licht aus gleichen Lasern und/oder aus zumindest gleichartigen Lasern und/oder aus Lasern unterschiedlichen Typs handelt.

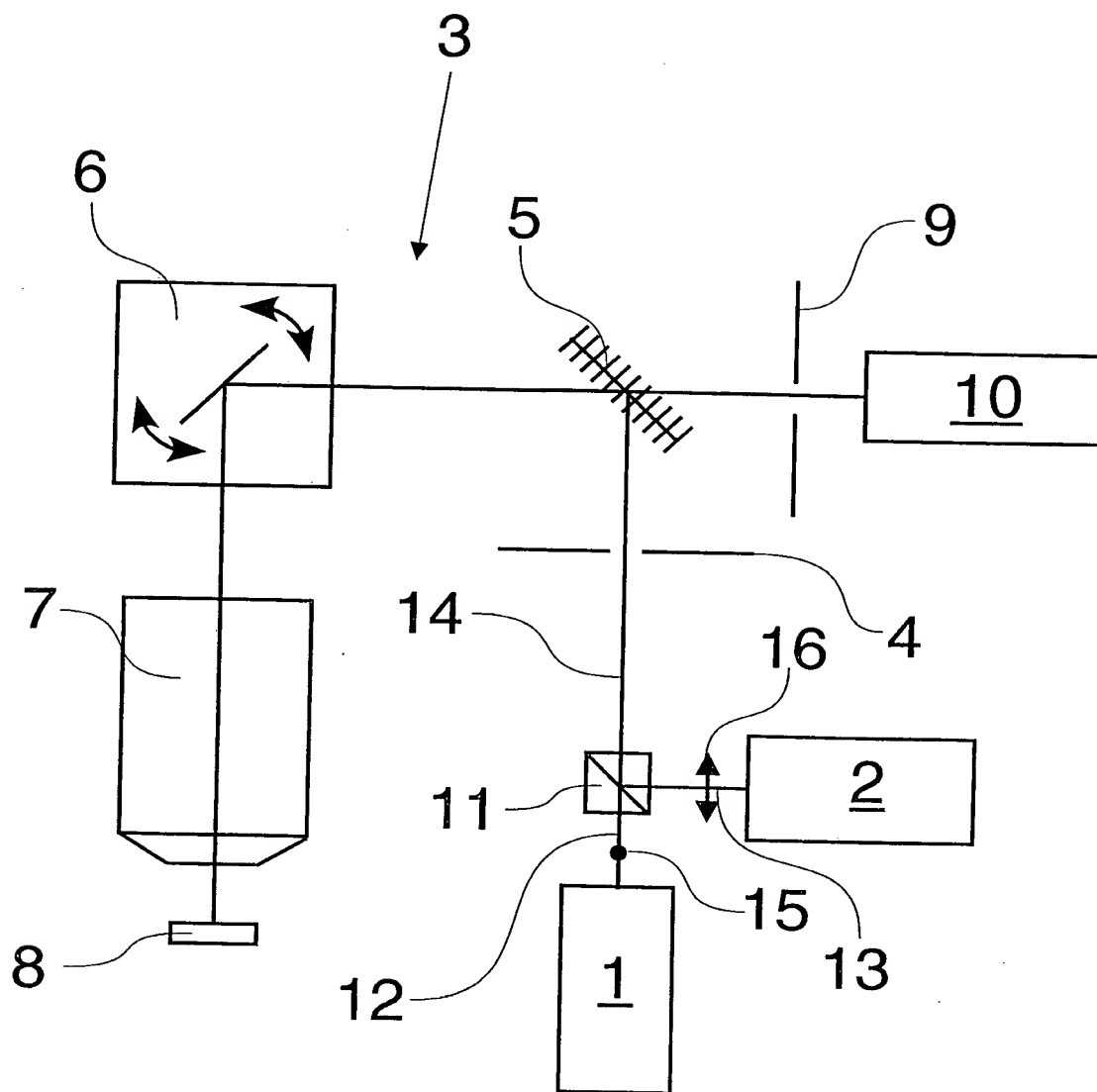


Fig. 1

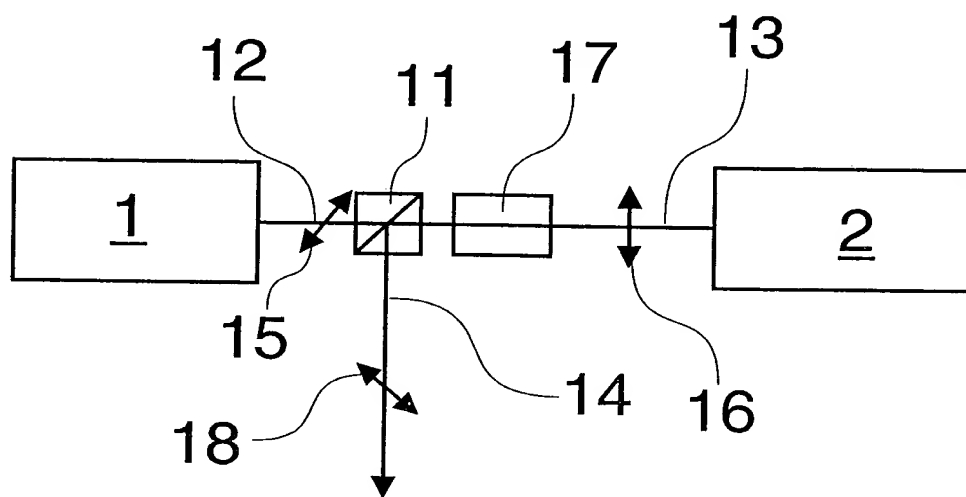


Fig. 2

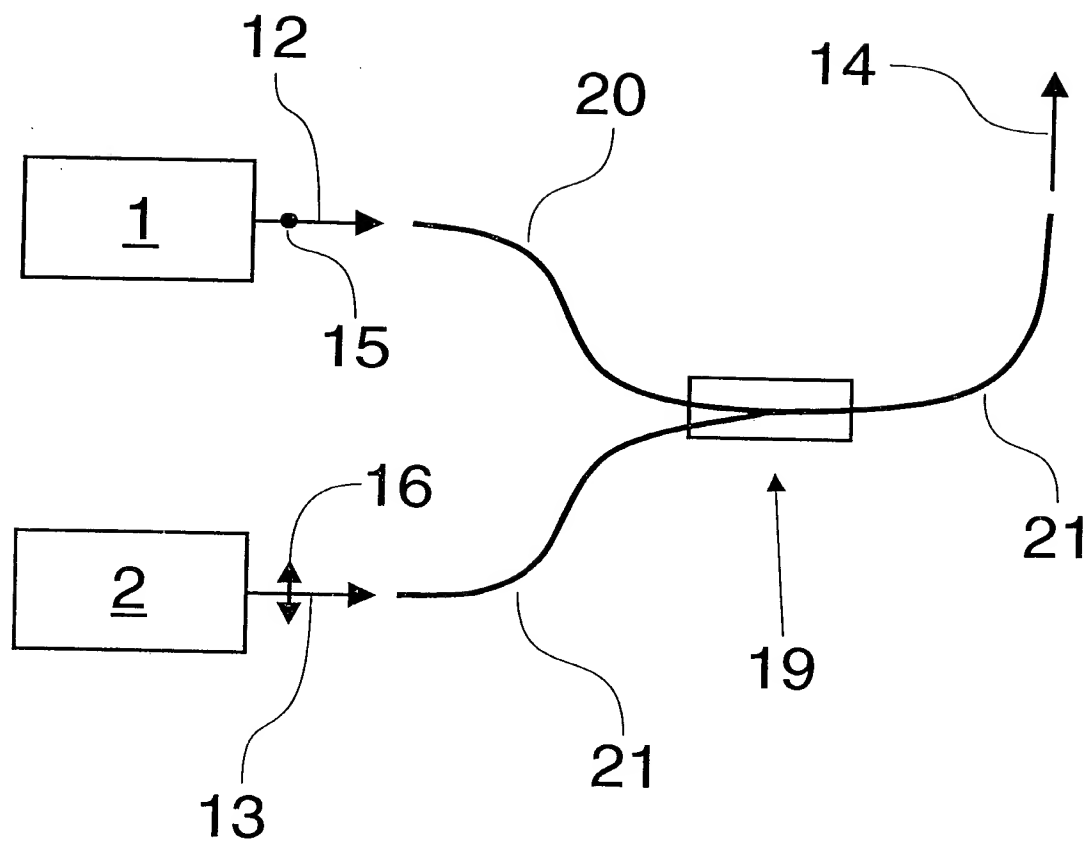


Fig. 3

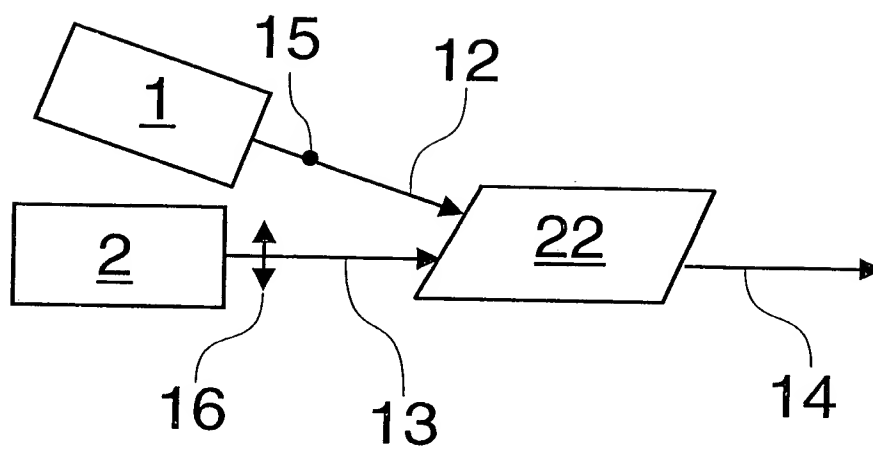


Fig. 4

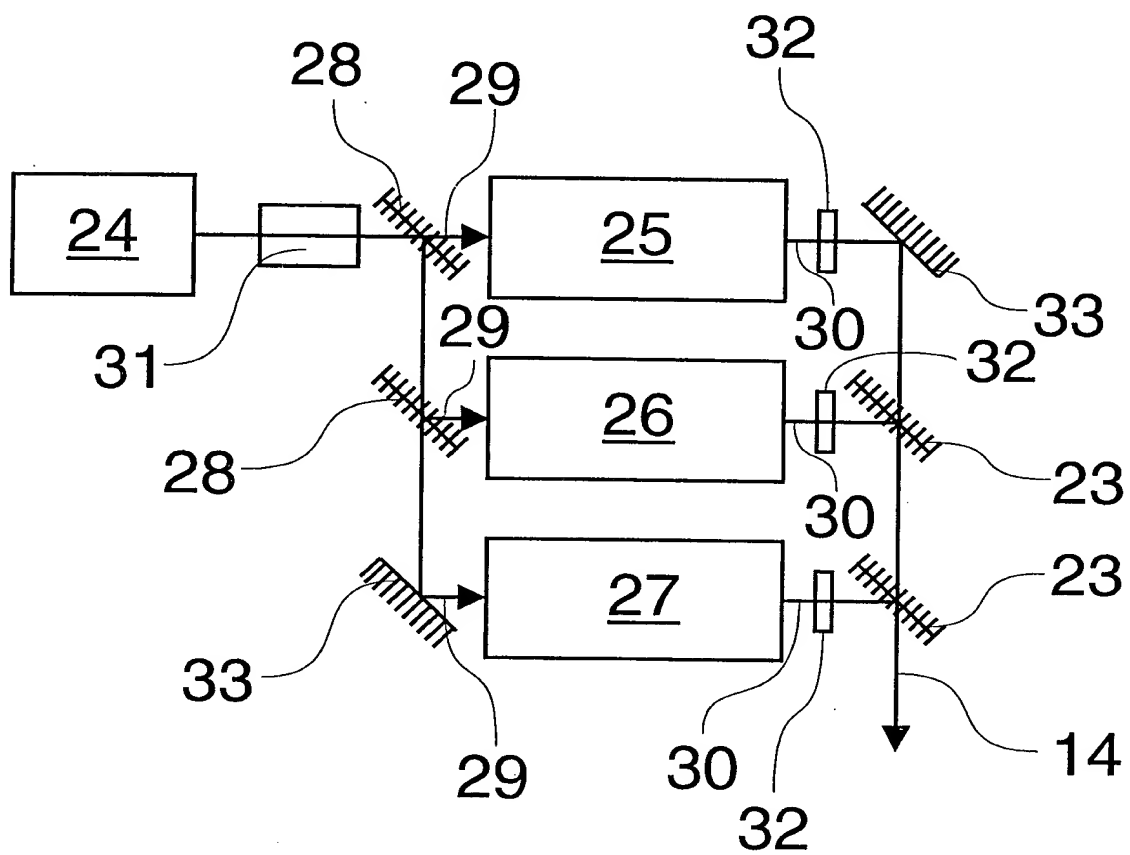


Fig. 5

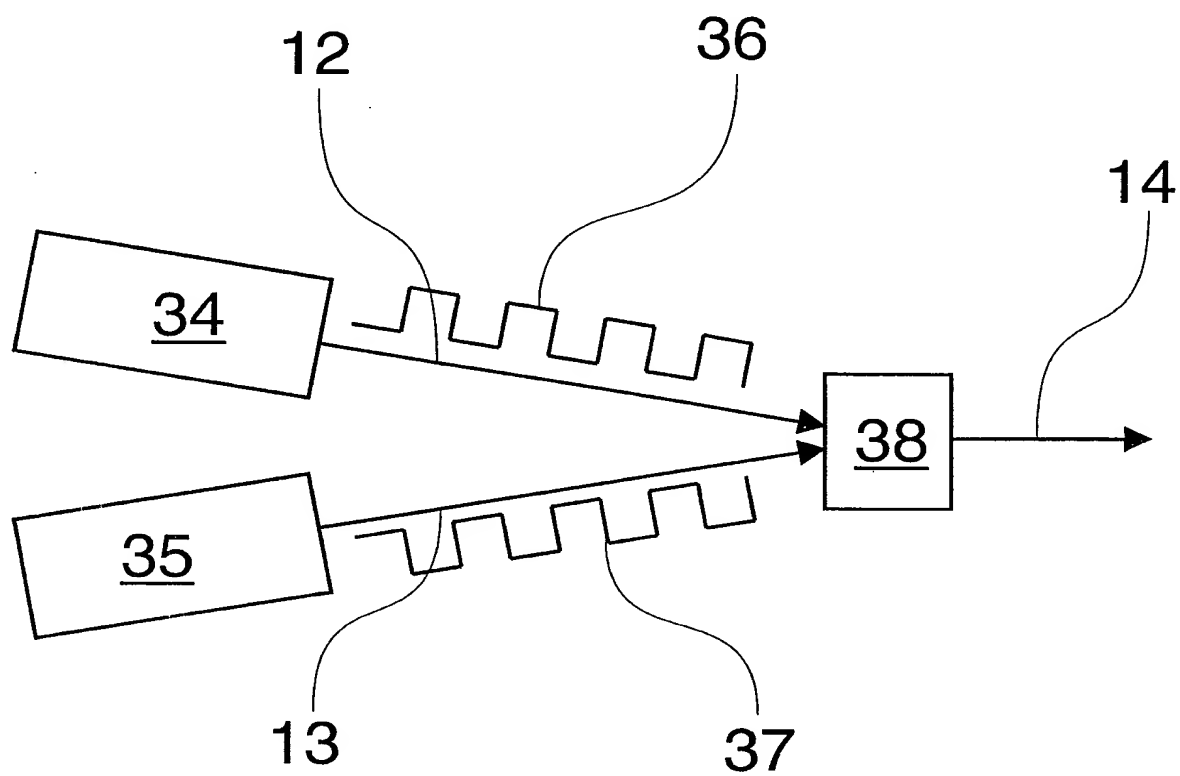


Fig. 6

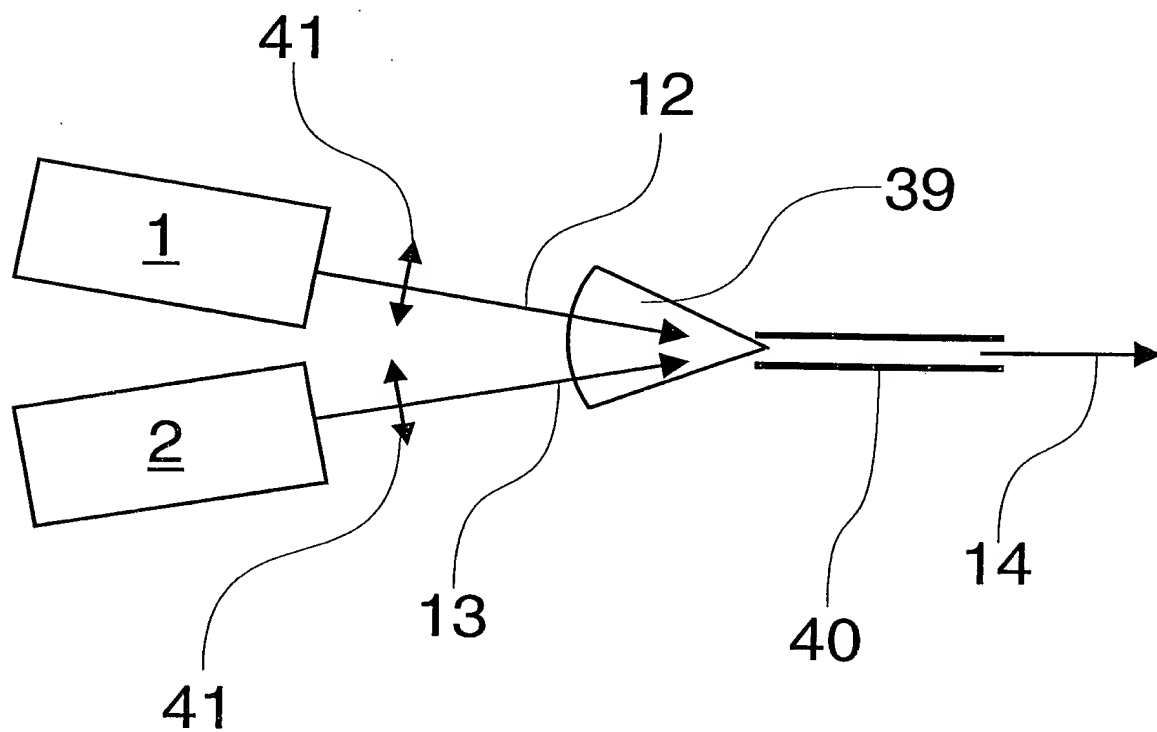


Fig. 7

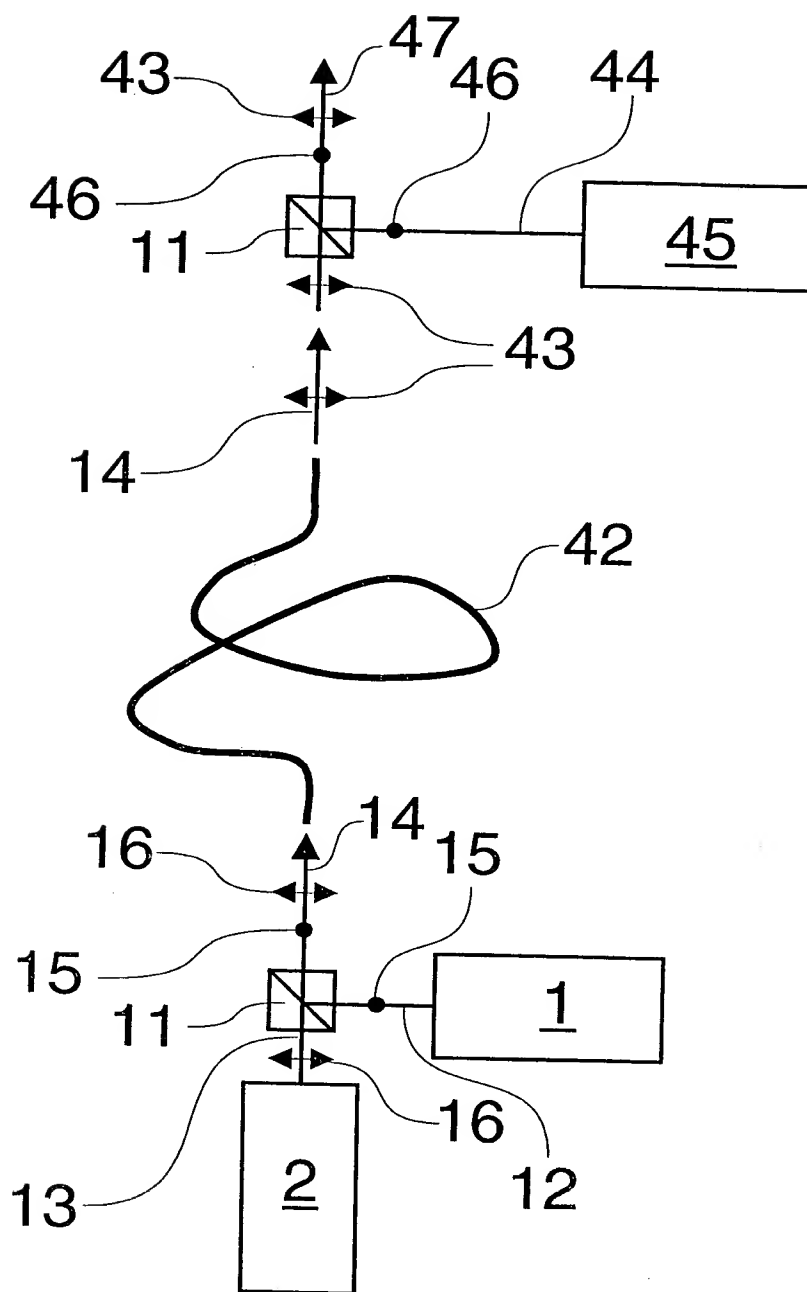


Fig. 8

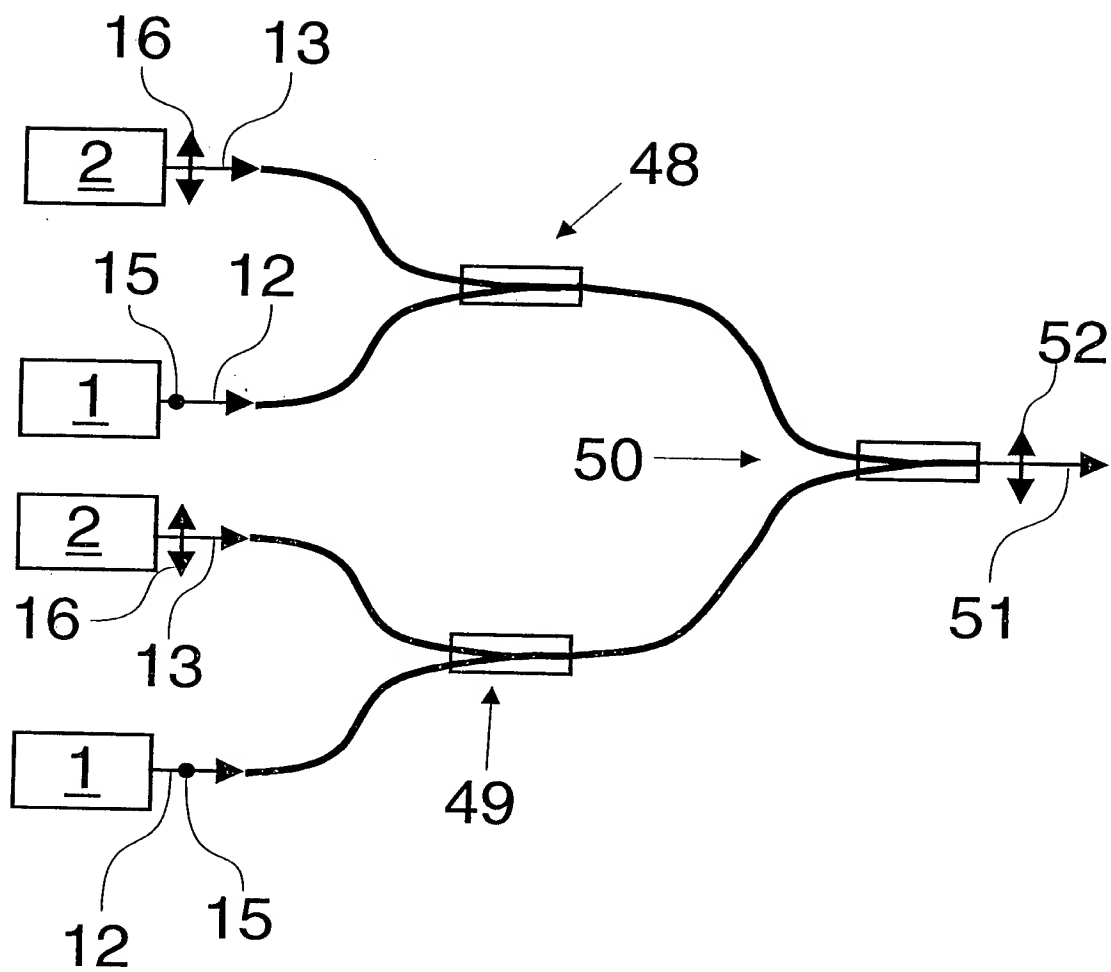


Fig. 9

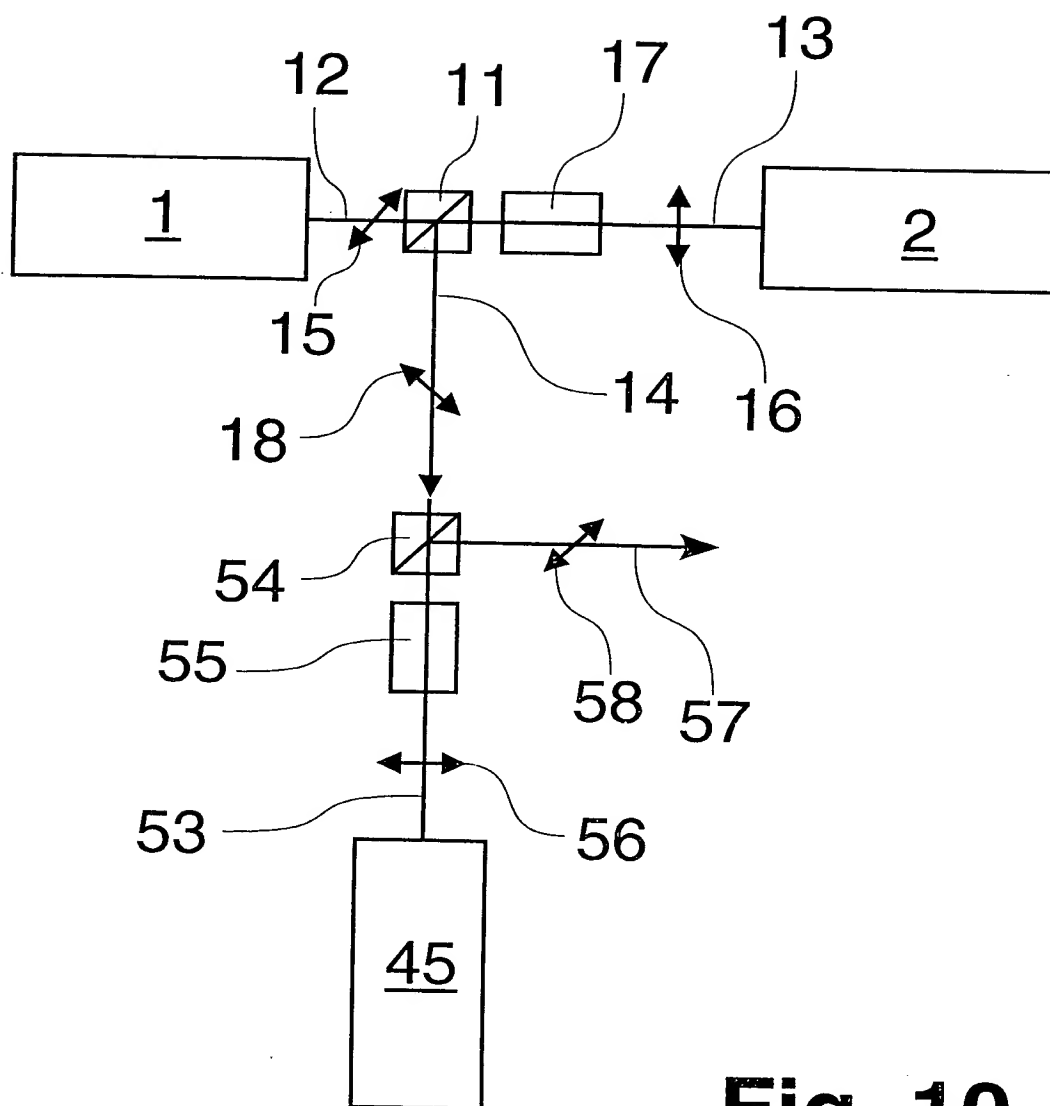


Fig. 10

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Vereinigen von Licht mindestens zweier Laserlichtquellen, vorzugsweise bei der konfokalen Rastermikroskopie, und ist zum nutzbar machen von Laserlichtquellen geringer Ausgangsleistung als Lichtquellen insbesondere für die konfokale Rastermikroskopie dadurch gekennzeichnet, dass das Licht der Laserlichtquellen zumindest nahezu die gleiche Wellenlänge aufweist und dass mindestens eine die Lichtstrahlen zumindest weitgehend verlustfrei vereinigende Strahlvereinigungseinheit vorgesehen ist.

(Fig. 1)

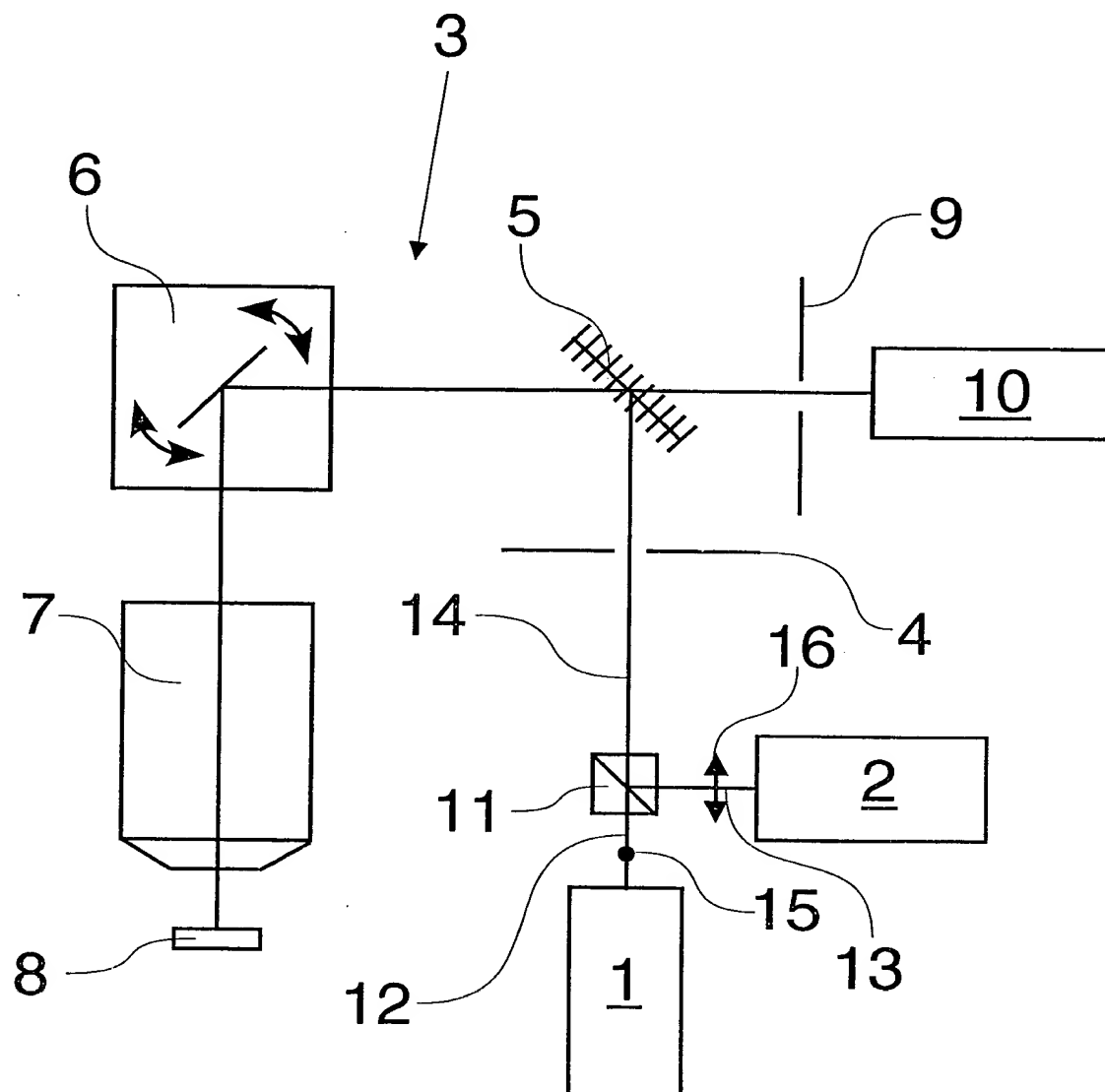


Fig. 1